**POLITECNICO DI TORINO**
**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE INDUSTRIALE**

**I Sessione 2015 - Sezione A**

**Settore Industriale**

**Prova pratica del 22 luglio 2015**

Il candidato svolga uno a scelta fra i seguenti temi proposti.
Gli elaborati prodotti dovranno essere stilati in forma chiara e ordinata, con calligrafia leggibile.
L'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

## Tema n. 1

Il candidato descriva le ipotesi di validità delle equazioni dello strato limite, partendo dalle equazioni di Navier-Stokes, nel caso di un fluido incomprimibile e dominio bidimensionale ($Re = V_\infty L/\nu$):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right),$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right).$$

Ottenute le equazioni di strato limite il candidato da queste ricavi, specificando le condizioni di validità e la tipologia di corrente esterna corrispondente, le equazioni di Blasius e di Falkner-Skan in forma adimensionale in coordinate cartesiane con le opportune condizioni al contorno. Si implementi quindi un algoritmo per la risoluzione dell'equazione di Falkner-Skan (gradiente di pressione non nullo) utilizzando uno schema numerico iterativo alle differenze finite, avvalendosi delle seguenti indicazioni:

- Utilizzare il cambiamento di variabili F=f';
- Linearizzare l'equazione (prima di risolverla) attraverso il metodo di Newton-Raphson per il termine quadratico $F^2=2F_nF - (F_n)^2$ e ponendo $fF'=f_nF'$, dove il pedice n indica il valore all'iterazione precedente;
- Ottenere $f(\eta)= \int_0^\eta F(\eta')\, d\eta'$ integrando F attraverso il metodo dei trapezi.

## Tema n. 2

Il freezing detto anche acinesia paradossa, congelamento o più semplicemente blocco motorio è un disturbo che insorge nel corso dell'evoluzione della malattia di Parkinson di cui costituisce un sintomo indipendente generalmente resistente alla terapia con levodopa.
Il freezing è definito come brusca e repentina incapacità di movimenti volontari. Questo fenomeno può verificarsi all'inizio o nel corso della marcia, nell'attraversare passaggi stretti o nei cambiamenti di direzione.
La stimolazione uditiva ritmica (RAS) è stata introdotta come strumento di assistenza per il freezing. La RAS consiste in un ticchettio ritmico che viene attivato al rilevamento di un episodio di freezing tramite accelerometri. Questa tecnica permette di aiutare il paziente a proseguire o riprendere un'andatura costante. Il solo uso di accelerometri ha però mostrato limiti per predire un evento di freezing. La latenza di rilevamento (decimi di secondi nel migliore dei casi) non consente di evitare completamente l'evento di freezing.

Risultati in letteratura hanno mostrato alterazioni dei segnali EEG, EMG, ECG e della reazione vincolare al terreno durante l'analisi del cammino prima di un evento di freezing. Sulla base di tali risultati si vuole sviluppare un sistema indossabile multimodale per la predizione e prevenzione di eventi di freezing.

Il candidato:

1. Progetti e descriva la struttura complessiva del sistema.
2. Sulla base delle scelte progettuali effettuate discutere la classificazione del dispositivo medico e gli aspetti normativi.
3. Selezioni due delle grandezze elettrofisiologiche/meccaniche acquisite dal sistema definito al punto 1. e descriva i dettagli dei sottosistemi per l'acquisizione di questi segnali (trasduttore, sue caratteristiche, banda passante, frequenza di campionamento, ecc.).
4. Selezioni un sottosistema del punto 2. e per questo progetti la catena di condizionamento ed amplificazione a livello di schema elettrico (amplificatore da strumentazione, condizionamento mediante filtri, filtro anti-aliasing ecc. ...).

## Tema n. 3

Dell'acqua, in condizioni di equilibrio con l'aria alla temperatura di 20°C, deve essere trattata allo scopo di ridurre il contenuto di ossigeno in essa disciolto ad un valore massimo di 0.5 g/m$^3$.
Per conseguire tale obiettivo, l'acqua sarà riscaldata e posta in contatto con una fase gassosa costituita da azoto puro, in modo tale che l'ossigeno disciolto nel liquido si trasferisca nel gas.
Si scelgano e si dimensionino le apparecchiature, le macchine e le linee di trasferimento dei fluidi necessarie per trattare, in continuo, una corrente di acqua con una portata di 25000 kg/h.
Si disegni, infine, uno schema di flusso dell'impianto con i principali dispositivi di controllo.

Costante di Henry dell'ossigeno in acqua: $k_H = 1.3\ 10^{-3} \left[\frac{kmoli}{m^3\ atm}\right]$ a 298.15 [K]

$$\frac{d(\ln k_H)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = 1500\ [K]$$

## Tema n. 4

Si consideri un motore a corrente continua alimentato da un amplificatore di potenza ideale PWM (Pulse Width Modulation) che pone in rotazione un carico inerziale tramite un riduttore di velocità, secondo lo schema di Figura 1.

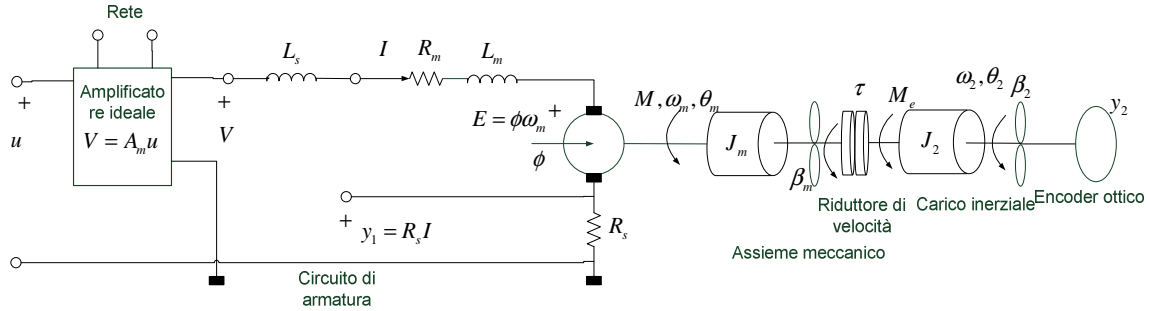



Figura 1: schema elettromeccanico.

Il riduttore di velocità è affetto da un'elasticità torsionale (non in Figura) tale che la coppia $M_e$ trasmessa al carico si esprime come $M_e = K(\theta_m / \tau - \theta_2)$. Si parli di riduttore ideale se si trascura tale elasticità e di riduttore reale altrimenti.

Le variabili in Figura 1 sono le seguenti. Corrente del motore $I$, tensione di comando $u$, tensione di alimentazione $V$, forza controelettromotrice $E$, velocità e posizione angolare dell'albero motore $\omega_m, \theta_m$, velocità e posizione angolare del carico $\omega_2, \theta_2$, coppia motrice $M$, coppia di uscita del riduttore $M_e$, misura di corrente $y_1$ (in tensione), misura di posizione angolare $y_2$ (in radianti) fornita da un encoder ottico.

Il valore nominale dei parametri sia il seguente.

$$A_m = 15, R_m = 1\Omega, R_s = 0.5\Omega, L_m = 0.5mH, L_s = 2mH, \phi = 0.2\,\mathrm{Wb}$$

$$J_m = 0.001kgm^2, \beta_m = 0.001Nms, \tau = 150, K = 100000Nm/rad, J_2 = 22.5kgm^2, \beta_2 = 11.25Nms$$

Alcune variabili siano limitate: $|u| \le u_{\max} = 5V, |I| \le I_{\max} = 10A, |\theta_2| \le \theta_{\max} = \pi\ \mathrm{rad}$

Il sistema di controllo sia gerarchico con un anello interno (regolatore PI) che regoli la corrente del motore ed un anello esterno (regolatore PID) che asservisca $y_2$ ad un riferimento $r$ e abbia come uscita il riferimento $I_r$ del regolatore di corrente. Gli algoritmi di controllo e i loro guadagni siano progettati dapprima a tempo continuo, siano poi convertiti in tempo discreto assumendo per semplicità un'unica frequenza di campionamento $f_c = 5\ \mathrm{kHz}$.

Il tema deve essere sviluppato in tre passi: A) modellistica, B) regolatore di corrente e C) asservimento di posizione.

Passo A): modellistica

1) Si riporti lo schema a blocchi nella variabile s (trasformata di Laplace) dell'assieme elettromeccanico di Figura 1, ponendo in evidenza ingressi e uscite.
2) Si calcolino in forma simbolica le funzioni di trasferimento (FDT): a) $P_1(s)$ tra tensione di comando $u$ e corrente $I$ assumendo che il riduttore sia ideale, b) $P_{2,ideale}(s)$ tra corrente $I$ e angolo $\theta_2$ assumendo riduttore ideale e forza controelettromotrice nulla $(E = 0)$.
3) Si calcolino i poli di entrambe le FDT di cui al punto 2) in modo simbolico e numerico, si riportino i risultati in apposita tabella.
4) Si tracci il diagramma di Bode in modulo, su carta logaritmica allegata, della FDT $P_{2,reale}(s) = \theta_2 / I$ nel caso di riduttore reale, che, sempre ponendo $E = 0$, si scrive come

$$P_{2,reale} = P_{2,ideale}\frac{1}{s^2/\omega_r^2 + 2\zeta_r s/\omega_r + 1}, \omega_r = \sqrt{K\left(J_2^{-1} + \left(J_m\tau^2\right)^{-1}\right)}, \zeta_r = 0.075$$

Passo B) Regolatore PI di corrente, requisiti e vincoli.

1) Requisiti di accuratezza e prontezza. Il regolatore di corrente in risposta ad un riferimento di corrente $I_r$ ad onda quadra a valor medio zero con periodo $P_r \geq 50ms$ deve garantire che dopo ogni cambio di segno del riferimento la corrente misurata $y_1/R_s$ ripeta il riferimento entro il 4% del valore di picco con un ritardo di 5 ms, come in Figura 2.
2) Il riferimento di corrente deve rispettare $|I_r| \leq I_{\max}$ e il regolatore deve rispettare $|u| \leq u_{\max}$ per la classe dei riferimenti di cui al punto 1.

Metodo e risultati del progetto

1) Si scriva in forma simbolica la funzione di trasferimento del regolatore PI progettato, si indichi e si sviluppi un metodo per il calcolo dei guadagni che consenta di rispettare requisiti e vincoli di cui ai punti precedenti, si riportino i valori e le unità di misura dei guadagni in apposita tabella. Il metodo deve fare riferimento alla FDT $P_1(s) = I(s)/u(s)$ calcolata al passo A. Se necessario si traccino i diagrammi di Bode in modulo su carta logaritmica allegata. Si verifichi numericamente che il contributo di $E$ alla misura di corrente $y_1/R_s$ rispetti i requisiti.
2) Si converta il regolatore PI a tempo discreto tramite equazioni di stato, scrivendole in modo simbolico. Si riportino i valori dei guadagni e le loro unità di misura in un'apposita tabella. Si assuma la frequenza di campionamento $f_c$ di cui sopra.
3) Si riporti lo schema a blocchi simbolico del regolatore PI discreto che riceve in ingresso la misura digitale di corrente e il riferimento di corrente (non digitale) e fornisca in uscita il comando digitale.
4) Si dimostri che nel caso ideale in cui valga $I = I_r$ (errore d'inseguimento nullo) e nell'ipotesi di riduttore ideale, la FDT $P_2(s) = \theta_2/I_r$ è uguale a $P_{2,ideale}(s)$.
5) Si proponga il numero di bit $\mu_u$ di DAC (Digital to Analogue Converter) e $\mu_1$ di ADC (Analogue to Digital Converter). Si riportino i valori insieme con i livelli di quantizzazione in apposita tabella.
6) Si proponga e si dimostri la minima frequenza di commutazione $f_a$ dell'amplificatore di potenza PWM.

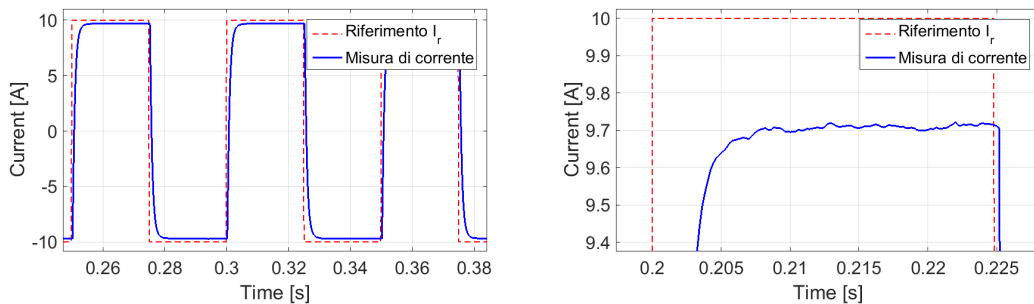



Figura 2. Sinistra: riferimento e corrente misurata. Destra: raggiungimento del requisito

Passo C. Asservimento PID di posizione. Requisiti e vincoli.

1) Classe di riferimento a): riferimento sinusoidale $r(t) = r_0\left(1 - \cos\left(2\pi t/P_r\right)\right)$ con $|r_0| \leq \theta_{\max}$ e $P_r \geq 5s$. Il ritardo temporale $\tau_r$ a regime tra $y_2$ ed $r$ deve essere $\tau_r \leq 0.3s$ e l'attenuazione picco-picco deve essere inferiore all'1% come in Figura 3.
2) Classe di riferimento b): riferimento ad onda quadra $|r(t)| < 0.1$ rad, $P_r \geq 10s$. La misura $y_2$ deve ripetere il riferimento con un errore inferiore al 2% del valore di picco entro 1 s dal cambio di segno come in Figura 4.
3) L'asservimento deve rispettare $|I| \leq I_{\max}$ e $|u| \leq u_{\max}$ per le classi dei riferimenti di cui ai punti precedenti.

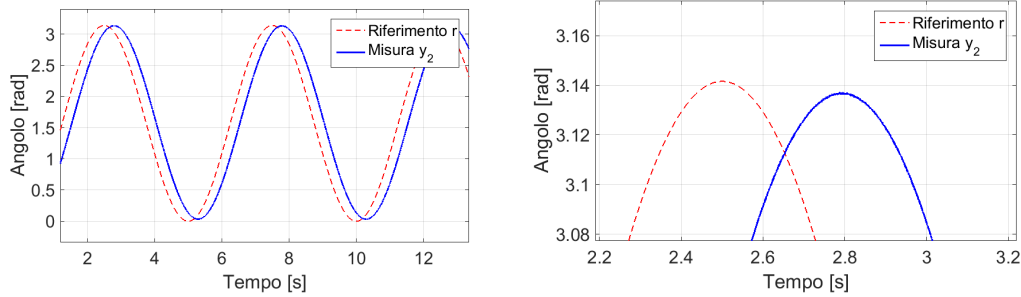



Figura 3 Risposta a riferimento sinusoidale.

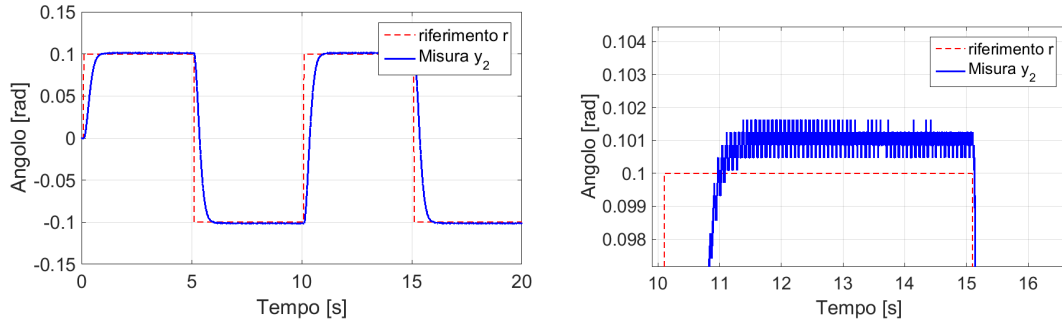
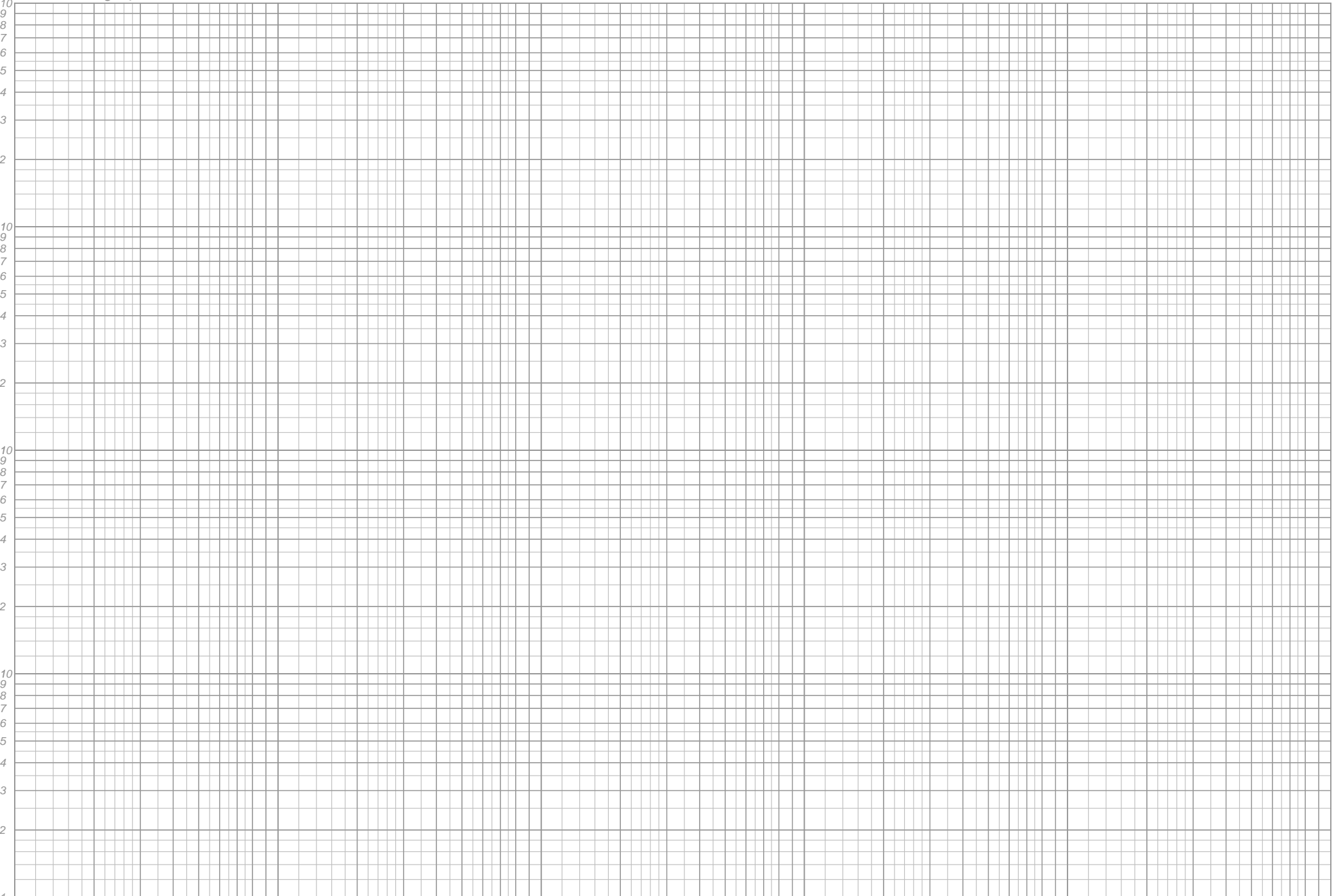



Figura 4 Risposta a riferimento ad onda quadra.

Metodo e risultati del progetto

1) Si scriva in forma simbolica la funzione di trasferimento del regolatore PID progettato, si indichi e si sviluppi un metodo per il calcolo dei guadagni che consenta di rispettare requisiti e vincoli di cui ai punti precedenti, si riportino i valori e le unità di misura dei guadagni in un'apposita tabella. Il metodo deve fare riferimento a entrambe le FDT $P_{2,ideale}(s)=\theta_2(s)/I(s)$ e $P_{2,\text{reale}}(s)=\theta_2(s)/I(s)$ calcolate al passo A. Se necessario si traccino i diagrammi di Bode in modulo su carta logaritmica allegata. Si ponga attenzione al fatto che la coppia di poli complessi in $P_{2,\text{reale}}(s)$ possa rendere instabile l'anello chiuso. A tale scopo si garantisca che la funzione di anello $G_2(s)=P_{2,reale}(s)F(s)$ essendo $F(s)$ la FDT della retroazione PID, abbia un sufficiente margine di guadagno $\eta_m$ il cui valore sia dimostrato dal candidato in forma simbolica e numerica.
2) Si converta il regolatore PID nella forma a tempo discreto tramite equazioni di stato, scrivendole in modo simbolico. Si riportino i valori dei guadagni e le loro unità di misura in un'apposita tabella. Si assuma la frequenza di campionamento di cui sopra.
3) Si riporti lo schema a blocchi simbolico del regolatore PID discreto che riceva in ingresso la misura digitale di posizione angolare e il riferimento di posizione (digitale) e fornisca in uscita il riferimento di corrente (non digitale).
4) Si proponga un'espressione simbolica per calcolare la massima corrente $I_{r,\max}$ richiesta da entrambe le classi di riferimento di cui sopra. Tramite essa si calcolino sia il periodo $P_r$ della classe a) sia l'ampiezza $r_{\max}$ della classe b) che richiedono $I_{r,\max}=I_{\max}$.
5) Si proponga un'espressione simbolica per calcolare il valore massimo $M_{e,\max}$ della coppia $M_e$ trasmessa dal riduttore reale, e con tale espressione si calcoli $M_{e,\max}$ per i riferimenti di entrambe le classi a e b. Si verifiche che valga $M_{e,\max}\le 150Nm$.
6) Si proponga e si dimostri il numero di bit $\mu_2$ dell'encoder ottico.

Allegati: tre fogli di carta logaritmica (da richiedere alla commissione)

Custom Graph™
Log-Log 5 H-Cyc Base10 & 4 V-Cyc Base10 Gray&LightGray TC - Land A4
http://customgraph.com

## Tema n. 5

Si consideri un edificio a destinazione specializzata di tipo amministrativo (uffici), costituito da cinque piani fuori terra, una copertura ed un piano interrato. Le dimensioni in pianta per tutti i livelli sono: lunghezza 40m, larghezza 20m e altezza 3m. I piani sono destinati agli usi di seguito specificati, oltre alla presenza di servizi igienici, disimpegni e scale.

- Interrato: cabina MT/BT, centrale termica, archivi.
- Terreno: reception clienti, sala d'attesa, sale riunioni.
- Primo: Centro Elaborazione Dati (CED), uffici.
- Secondo: uffici, locali cucina, mensa aziendale, bar.
- Terzo: uffici.
- Quarto: uffici.
- Copertura: centrale di condizionamento e gruppo frigo, terrazza 20m x 20m disponibile per l'installazione di un impianto fotovoltaico.

Il CED, data la sua importanza, richiede una continuità assoluta di alimentazione. Per la specificità dell'attività aziendale, ogni ufficio è dotato di uno o più PC. L'edificio è dotato di tre ascensori posti nella sua parte centrale ed è interamente climatizzato (riscaldamento invernale e condizionamento estivo).

L'Ente Erogatore dichiara i seguenti dati relativi alla fornitura elettrica MT nel punto di consegna, per l'alimentazione dell'edificio:

• $V_n$ = 20 kV trifase; neutro isolato.
• $S_{cc}$= 500 MVA (potenza di ctocto).
• $I_g$=100 A (corrente di guasto verso terra lato MT).
• t=0,5 s (tempo di eliminazione del guasto verso terra).

Giustificando l'assunzione di "ragionevoli" valori per i dati mancanti, il candidato proceda allo svolgimento dei seguenti punti:

1. Progetto della cabina di trasformazione e del quadro generale di bassa tensione (schema a blocchi, schema unifilare con l'indicazione delle principali caratteristiche dei componenti).
2. Dimensionamento dell'impianto di terra.
3. Dettaglio esecutivo degli impianti, limitatamente ad un locale "ufficio-tipo di dimensioni 4m x 4m, con la distribuzione luce e FM (schema unifilare del centralino di locale, dettagli sui dati nominali dei componenti).
4. Stima dei consumi elettrici annuali dell'intero edificio.
5. Progetto di un impianto fotovoltaico connesso alla Rete, disposto sulla terrazza disponibile in copertura, in modo da massimizzare la quota di energia prodotta (disposizione dei moduli, schemi elettrici ed indicazione delle principali caratteristiche dei componenti scelti). L'edificio è collocato in una località in grado di ricevere una radiazione solare annua pari a 1600 $kWh/m^2$, su un piano inclinato di 30° rispetto a quello orizzontale (inclinazione ottimale). In particolare si stimi la percentuale dei consumi elettrici coperti dal generatore fotovoltaico, rispetto a quelli complessivi dell'edificio.

Il Candidato illustri le problematiche affrontate e le scelte tecnico-economiche operate, con particolare riferimento alla sicurezza, all'affidabilità ed al risparmio energetico, citando i riferimenti normativi e legislativi applicabili.

## Tema n. 6

Si deve condizionare nella stagione invernale una sala cinematografica, nella quale si vogliono mantenere le condizioni ambiente di temperatura $t_A$ = 20°C e umidità relativa percentuale $\varphi_A$ = 50%, quando le condizioni dell'aria esterna sono $t_E$ = -5°C e $\varphi_E$ = 80%.
Il carico termico totale (da fornire all'ambiente) vale $\dot{Q}_t$ = 20000 kcal/h;
dall'ambiente si deve contemporaneamente asportare la portata di vapor d'acqua $\dot{m}_v$= 20 kg/h;
la portata d'aria esterna di rinnovo che è necessario introdurre in ambiente è $\dot{m}_e$ = 7000 kg/h;
la temperatura dell'aria di immissione in ambiente sia $t_I$ = 35°C.

Schematizzare l'impianto (a tutt'aria con ricircolo) e in particolare l'UTA (unità di trattamento aria): determinare le potenze termiche che devono scambiare la batteria di riscaldamento e la batteria di post riscaldamento, nonché la portata d'acqua $\dot{m}_h$ da evaporare nell'umidificatore adiabatico del quale si ipotizza una efficienza pari al 90%.
Tracciare sul diagramma di Mollier allegato le trasformazioni termodinamiche.
Dimensionare le 2 batterie di scambio termico alettate (batterie 25 * 19 - 12 alette * 1"), utilizzando il diagramma allegato fornito dal costruttore e facendo delle ipotesi realistiche sulle temperature dell'acqua calda di alimento.
La produzione di acqua calda può avvenire mediante un generatore di calore a condensazione, una pompa di calore acqua di falda-acqua, allacciandosi ad una rete di teleriscaldamento.
Stimare la potenza termica al focolare del generatore di calore, la potenza elettrica assorbita dalla pompa di calore (avvalendosi del diagramma di stato del fluido frigorigeno allegato per la determinazione dei capisaldi del ciclo), le dimensioni di ingombro dello scambiatore di calore a piastre nella sottostazione della rete di teleriscaldamento.
Confrontare i tre casi dal punto di vista economico e dal punto di vista della produzione di gas climalteranti.

Per semplicità nel confronto economico si utilizzino tariffe monomie quali ad esempio le seguenti:

| | | |
|---|---|---|
| 0,90 | €/m3 | per il gas naturale |
| 150 | €/MWh | per l'energia elettrica |
| 80 | €/MWh | per l'energia termica da teleriscaldamento. |

BATTERIA DI SCAMBIO TERMICO ALETTATA UTILIZZATA NELL'UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA

GEOMETRIA 25 * 19 12 ALETIE PER 1''

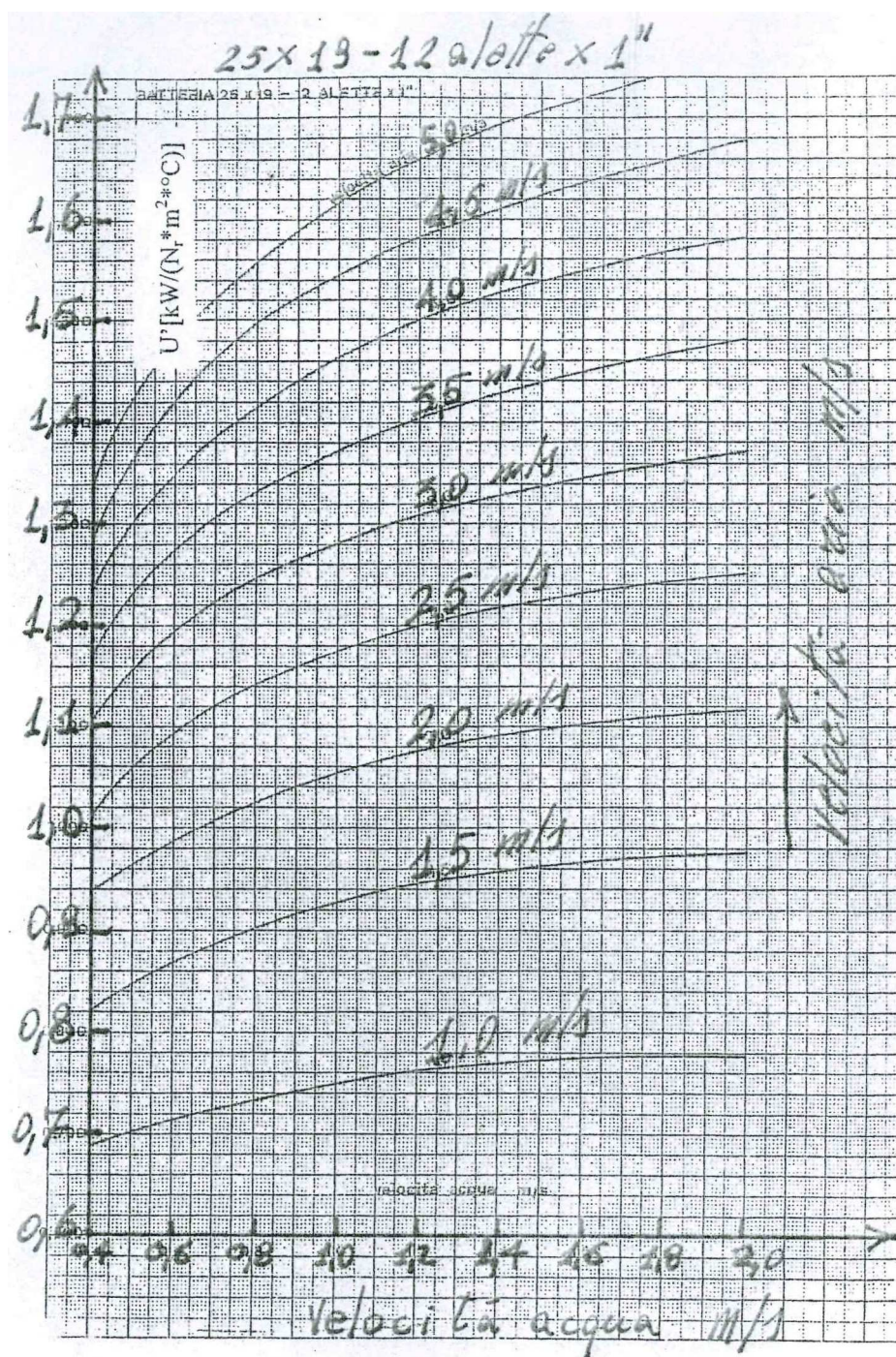
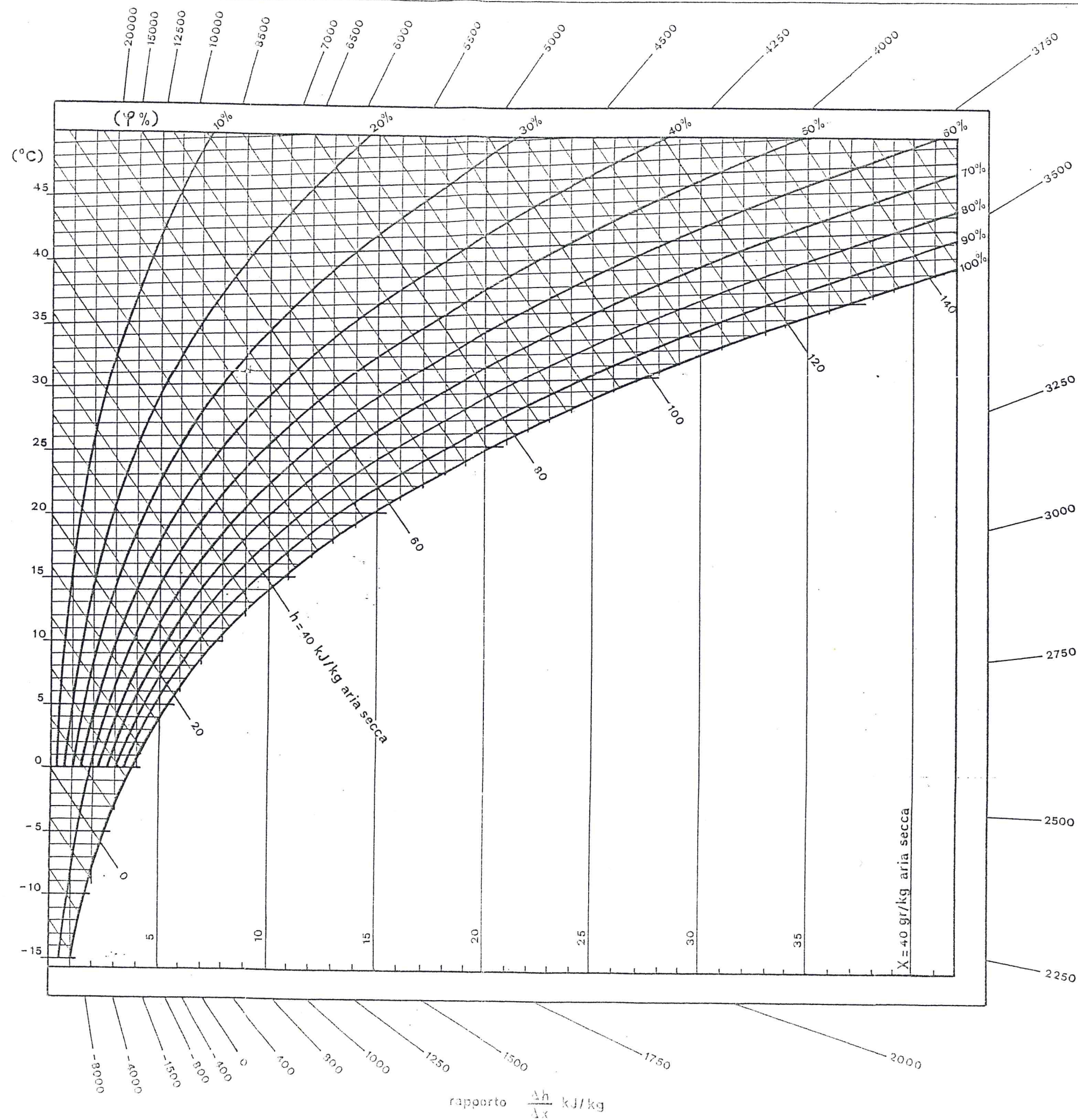
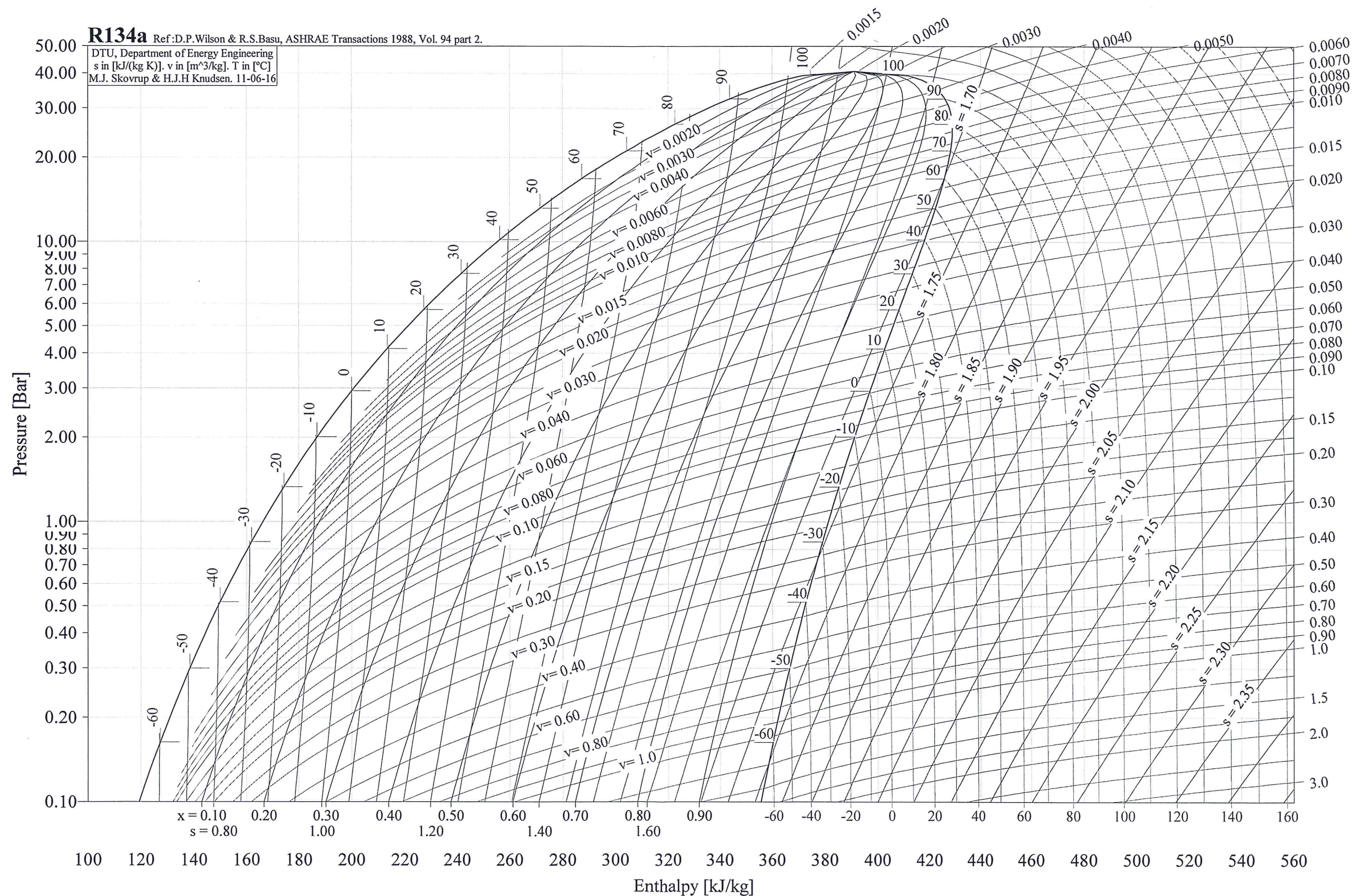



Diagramma fornito dal costruttore.

Il diagramma riporta il coefficiente di scambio termico globale **U' [kW/($N_r$*$m^2$*°C)]** in funzione della velocità dell'acqua per varie velocità frontali dell'aria.

- **Nr** rappresenta il numero dei ranghi della batteria;
- **$m^2$** è l'unità di misura dell'area frontale della batteria;
- **°C** è l'unità di misura della differenza di temperatura media logaritmica supponendo che i due fluidi siano in controcorrente.

DIAGRAMMA PSICROMETRICO
PRESSIONE 1,013 bar
(φ %)
(°C)
h = 40 kJ/kg aria secca
X = 40 gr/kg aria secca
rapporto $\frac{\Delta h}{\Delta x}$ kJ/kg

R134a Ref :D.P.Wilson & R.S.Basu, ASHRAE Transactions 1988, Vol. 94 part 2.
DTU, Department of Energy Engineering
s in [kJ/(kg K)]. v in [m^3/kg]. T in [ºC]
M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen. 11-06-16
Pressure [Bar]
Enthalpy [kJ/kg]
x = 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90
s = 0.80 1.00 1.20 1.40 1.60
100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480 500 520 540 560
50.00 40.00 30.00 20.00 10.00 9.00 8.00 7.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.90 0.80 0.70 0.60 0.50 0.40 0.30 0.20 0.10

## Tema n. 7

### PARTE A

Il candidato realizzi l'analisi del bilancio della società ALFA SpA (si veda allegato) per l'anno 2013, mettendone in evidenza gli indicatori di redditività operativa, solidità patrimoniale e liquidità.

### PARTE B

Un investitore ha investito in un portafoglio costituito da 2 titoli A e B, acquistando 60.000 titoli di tipo A e 35.000 titoli di tipo B. I rendimenti storici dei due titoli presentano un coefficiente di correlazione pari a 0,7. Nell'ipotesi che i titoli siano quotati su un mercato azionario in equilibrio e che soddisfa tutte le assunzioni del Capital Asset Pricing Model (CAPM), il candidato calcoli il rendimento di un portafoglio efficiente. NB: utilizzare almeno 4 cifre decimali nei conti

| Titolo | A | B |
|---|---|---|
| Capitalizzazione (Milioni di Euro) | 75 | 180 |
| Numero azioni quotate (Milioni) | 12 | 18 |
| Beta | 0,8 | 0.65 |
| Rendimento | 8,8% | 7,9% |
| Varianza dei rendimenti | 0,034 | 0,012 |
| Covarianza con il portafoglio mercato | 0,0095 | |

### PARTE C

La società EPSYLON SpA è una impresa non quotata sul mercato azionario. Un fondo di investimento intende realizzare un'analisi per valutare l'opportunità di acquisire tale società.
Gli attuali azionisti della società richiedono un prezzo pari a 11.50 Euro per azione.
Nel seguito vengono riportate le informazioni relative alla società EPSYLON:
Numero di azioni: 10 Milioni
Patrimonio netto (book value): 70 Milioni di Euro
Composizione del debito:

- 150 mila obbligazioni ZCB con scadenza a 10 anni con valore di rimborso 100 Euro ed attuale rendimento a scadenza del 7%.
- 10 Milioni di Euro da prestiti bancari a lungo termine su cui l'impresa paga un tasso di interesse pari al 5%.

Elementi del conto economico:
Ricavi operativi: 34 Milioni
Costi Operativi: 14 Milioni
Ammortamenti: 3 Milioni
Aliquota fiscale: 30%.
Si hanno a disposizione le seguenti informazioni sui mercati finanziari:
Rendimento dei titoli di stato per differenti scadenze:
3 mesi: 2,2% 6 mesi 2,5 % 10 anni 4%
Premio per il rischio di mercato: 5,5%
La società EPSYLON opera su un mercato in cui è attiva anche la società quotata GAMMA Spa, simile ad essa sotto il profilo operativo, di cui si hanno a disposizione le seguenti informazioni:

| Impresa GAMMA Spa |
|---|
| Numero di azioni: 3 mln<br>Prezzo di mercato: 23 Euro<br>P/E: 15<br>Debito (market value):0<br>Beta: 0.80 |

Il candidato calcoli il costo medio ponderato del capitale (rWACC) della società EPSYLON (con ipotesi di stazionarietà dei flussi di cassa).

## Allegato – Bilancio della DELTA SPA

**Conto Economico 2013**

| Dati in migliaia di Euro | DELTA Spa |
|---|---|
| Ricavi vendite e prestazioni | 115376 |
| Var. rimanenze prodotti | -441 |
| Variazione lavori | 0 |
| Incrementi di immob. | 20 |
| Altri ricavi | 239 |
| Contributi in conto esercizio | 12 |
| TOT. VAL. DELLA PRODUZIONE | 115195 |
| Costi Materie prime e consumo | 71520 |
| Costi Servizi | 11654 |
| Costi  Godimento beni di terzi | 6982 |
| Totale costi del personale | 10023 |
| Salari e stipendi | 7127 |
| Oneri sociali | 2428 |
| Tratt. fine rapporto | 340 |
| Tratt. di quiescenza | 0 |
| Altri costi | 128 |
| TFR + quiescenza + altri costi | 468 |
| TOT Ammortamenti e svalut. | 2029 |
| Amm. Immob. Immat. | 748 |
| Amm. Immob. Mat. | 1087 |
| Altre svalut. Immob. | 0 |
| Amm. e svalut. delle immob. | 1836 |
| Svalut. Crediti | 193 |
| Variazione mag materie | 7056 |
| Accantonamenti per rischi | 54 |
| Altri accantonamenti | 0 |
| Oneri diversi di gestione | 912 |
| TOT COSTI DELLA PRODUZIONE | 110231 |
| RISULTATO OPERATIVO | 4964 |
| TOTALE PROVENTI E ONERI FINANZIARI | -638 |
| Tot. proventi da partecip. | 0 |
| TOT Altri Proventi | 259 |
| Da Crediti | 0 |
| Da titoli iscr. imm. | 0 |
| Da titoli iscr. att.circol. | 0 |
| Proventi da Titoli | 0 |
| Proventi fin. Diversi | 259 |
| TOT Oneri finanziari | 672 |
| Utili e perdite su cambi | -226 |
| TOTALE RETTIFICHE ATT. FINANZ. | 0 |
| TOT Rivalutazioni | 0 |
| Rivalut. di partec. | 0 |
| Rivalut. di altre imm. fin. | 0 |

| | |
|---|---|
| Rivalut. di titoli | 0 |
| TOT Svalutazioni | 0 |
| Svalut. di partec. | 0 |
| Svalut. di altre imm. fin. | 0 |
| Svalut. di titoli | 0 |
| Proventi Straordinari | 127 |
| Plusvalenze | 0 |
| Oneri Straordinari | 76 |
| Minusvalenze | 0 |
| Imposte es. prec. | 61 |
| RISULTATO PRIMA DELLE IMPOSTE | 4377 |
| Totale Imposte sul reddito correnti, differite e anticipate | 1819 |
| Imposte correnti | 1873 |
| Imposte differite e anticipate | -53 |
| UTILE/PERDITA DI ESERCIZIO | 2557 |
| Numero di Dipendenti | 195 |

**Stato patrimoniale - Attivo 2013**

| ATTIVO 2013 | DELTA Spa |
|---|---|
| CREDITI VERSO SOCI | 0 |
| TOTALE IMMOBILIZZAZIONI | 24712 |
| TOTALE IMMOB. IMMATERIALI | 2074 |
| Costi impianto e ampl. | 0 |
| Costi ricerca e pubb. | 0 |
| Diritti brevetto ind. | 0 |
| Concessioni, licenze | 5 |
| Avviamento | 0 |
| Imm. in corso | 0 |
| Altre immobiliz. Immateriali | 2069 |
| TOTALE IMMOB. MATERIALI | 5143 |
| Terreni e fabbricati | 2496 |
| Impianti | 1186 |
| Attrez. Industriali | 672 |
| Altri beni | 789 |
| Imm. in corso/acconti | 0 |
| TOTALE IMMOB. FINANZIARIE | 17495 |
| TOT Partecipazioni | 10307 |
| Imprese controllate | 10305 |
| Imprese collegate | 0 |
| Imprese controllanti | 0 |
| Altre imprese | 1 |
| TOT CREDITI Imm. Fin. | 7189 |
| Cred. vs Controllate entro | 6526 |
| Cred. vs Controllate oltre | 0 |
| Cred. vs Collegate entro | 0 |
| Cred. vs Collegate oltre | 0 |

| | |
|---|---|
| Cred. vs Controllanti entro | 0 |
| Cred. vs Controllanti oltre | 0 |
| Cred. vs Altri entro | 10 |
| Cred. vs Altri oltre | 653 |
| CREDITI FIN. A BREVE | 6536 |
| CREDITI FIN. A OLTRE | 653 |
| Altri titoli | 0 |
| Azioni proprie | 0 |
| ATTIVO CIRCOLANTE | 72987 |
| TOTALE RIMANENZE | 20912 |
| Materie prime | 12539 |
| Prodotti semilav./in corso | 4490 |
| Lavori in corso | 0 |
| Prodotti finiti | 3883 |
| Acconti | 0 |
| TOTALE CREDITI | 32818 |
| Cred. vs Clienti entro | 24130 |
| Cred. vs Clienti oltre | 1098 |
| Cred. vs Controllate entro | 670 |
| Cred. vs Controllate oltre | 0 |
| Cred. vs Collegate entro | 0 |
| Cred. vs Collegate oltre | 0 |
| Cred. vs Controllanti entro | 0 |
| Cred. vs Controllanti oltre | 0 |
| Cred. tributari entro | 2294 |
| Cred. tributari oltre | 63 |
| Cred. per imposte anticipate entro | 173 |
| Cred. per imposte anticipate oltre | 4 |
| Cred. verso altri entro | 3086 |
| Cred. verso altri oltre | 1299 |
| Crediti a breve | 30353 |
| Crediti a oltre | 2465 |
| TOT. DISPON. LIQUIDE | 19257 |
| Depositi bancari | 19254 |
| Assegni | 0 |
| Denaro in cassa | 3 |
| RATEI E RISCONTI | 731 |
| TOTALE ATTIVO | 98430 |

**Stato patrimoniale - Passivo 2013**

| Passivo 2013 | DELTA Spa |
|---|---|
| Capitale sociale | 22000 |
| Riserva da sovrapprezzo | 0 |
| Riserva di rivalutazione | 2216 |
| Riserva legale | 3407 |
| Riserva statutaria | 0 |
| Riserva azioni proprie | 0 |

| | |
|---|---|
| Altre riserve | 23853 |
| Utile/perdita a nuovo | 0 |
| Utile/perdita di eserci | 2557 |
| TOTALE PATRIMONIO NETTO | 54033 |
| TOTALE FONDI RISCHI | 1215 |
| Fondo di Quiescenza | 0 |
| Fondo Imposte anche differite | 75 |
| Altri Fondi | 1140 |
| TRATTAMENTO DI FINE RAPPORTO | 2181 |
| TOTALE DEBITI | 40298 |
| Obblig.ni entro | 0 |
| Obblig.ni oltre | 0 |
| Obblig.ni convert. Entro | 0 |
| Obblig.ni convert. oltre. | 0 |
| Soci per Finanziamenti entro | 0 |
| Soci per Finanziamenti oltre | 0 |
| Banche entro | 5500 |
| Banche oltre | 15298 |
| Altri finanziatori entro | 0 |
| Altri finanziatori oltre | 0 |
| Acconti entro | 80 |
| Acconti oltre | 0 |
| Fornitori entro | 18107 |
| Fornitori oltre | 0 |
| Titoli di credito entro | 0 |
| Titoli di credito oltre | 0 |
| Imprese Controllate entro | 0 |
| Imprese Controllate oltre | 0 |
| Imprese Collegate entro | 0 |
| Imprese Collegate oltre | 0 |
| Controllanti entro | 0 |
| Controllanti oltre | 0 |
| Debiti Tributari entro | 402 |
| Debiti Tributari oltre | 0 |
| Istituti previdenza entro | 442 |
| Istituti previdenza oltre | 0 |
| Altri Debiti entro | 469 |
| Altri Debiti oltre | 0 |
| DEBITI A BREVE | 25000 |
| DEBITI A OLTRE | 15298 |
| Total debiti entro l'esercizio | 25000 |
| Total debiti oltre l'esercizio | 15298 |
| RATEI E RISCONTI | 702 |
| TOTALE PASSIVO | 98430 |

**Tema n. 8**

La figura rappresenta un rinvio conico di una trasmissione del moto di una macchina utensile per fresatura con asse di lavoro sull'albero 2, al quale sono collegati due utilizzatori: l'utilizzatore 2 è collegato all'albero 2 attraverso un Innesto a frizione piana (larghezza massima 70 mm e diametro massimo 220 mm) e viene inserito alla velocità lavoro (di rotazione dell'albero 2) di 450 giri/min.

Le coppie assorbite dagli utilizzatori sono: C1=110 Nm e C2=70Nm

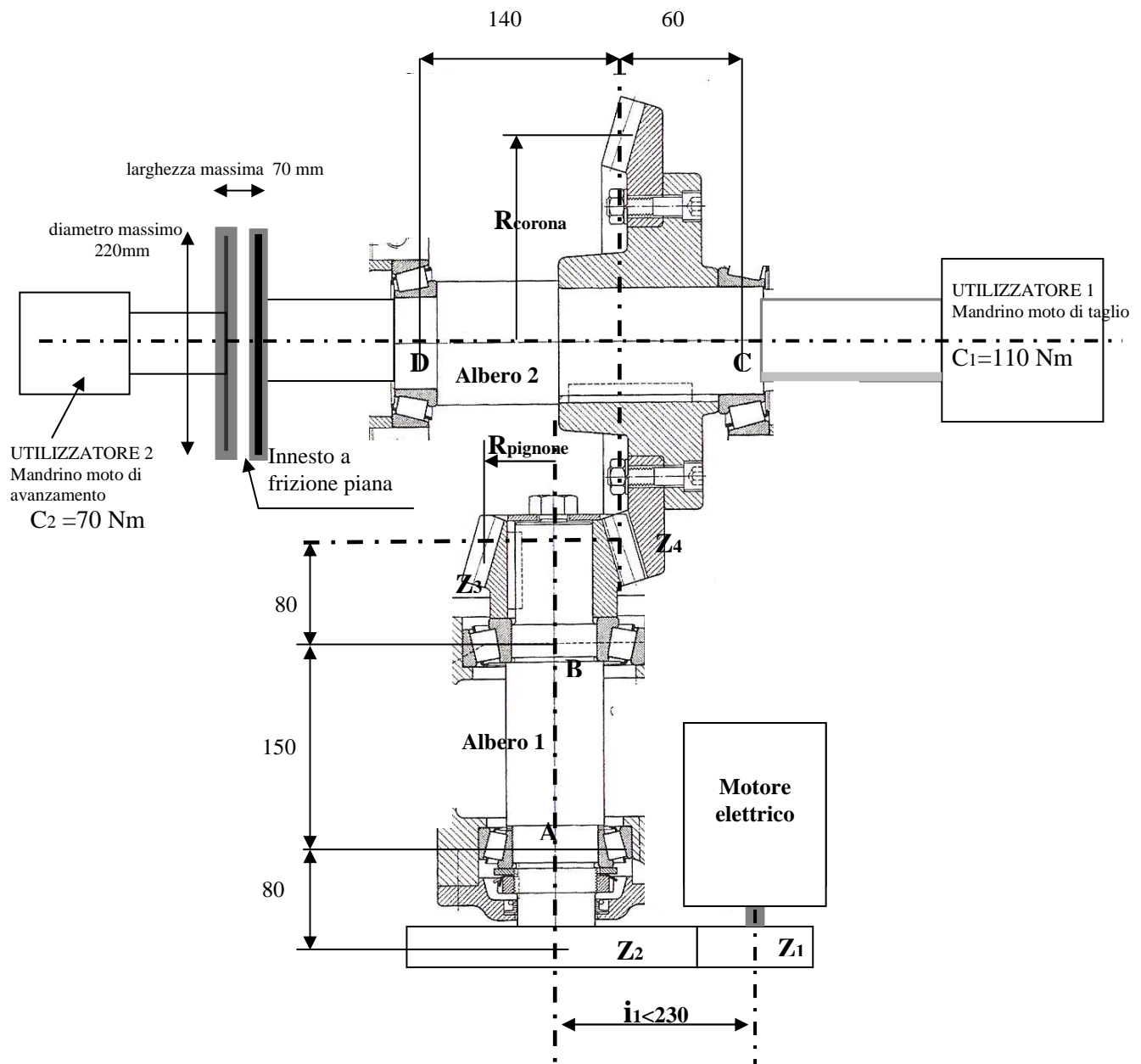
La velocità teorica del motore elettrico è pari a 1500 giri/min e lo scorrimento vale il 3%.
Si assumano le dimensioni indicate nella figura e si consideri un rapporto di trasmissione di riduzione suddiviso in due stadi.

- I stadio di riduzione ($Z_1/Z_2$) con interasse i <230mm.
- II stadio di riduzione (coppia conica $Z_3/Z_4$).

Il candidato svolga i seguenti punti:

1. dimensionamento della trasmissione $Z_1/Z_2$ (a denti diritti), dimensionamento della coppia di ruote dentate coniche a denti diritti $Z_3/Z_4$ e verifiche relative
2. dimensionamento a flesso-torsione dell'albero di trasmissione 1 in figura, tenendo in considerazione i fenomeni di fatica
3. calcolo dei cuscinetti ai supporti A, B, C, D (si presume una durata di 200000 ore).
4. disegno costruttivo dell'albero del punto 1, completo di ogni indicazione necessaria per la costruzione del particolare, della scelta del materiale e del relativo trattamento termico.
5. il dimensionamento dell'innesto se l'utilizzatore 2 assorbe la coppia C2 = 70 Nm
6. della la macchina utensile in oggetto di studio (fresatrice), che sfrutta il principio della lavorazione meccanica per asportazione di truciolo, si indichino le istruzioni per l'uso corretto in sicurezza e si descrivano le soluzioni tecniche da adottare per prevenire i rischi da incidenti sul lavoro.

<u>Il candidato assuma ogni altro dato eventualmente necessario per lo svolgimento del tema e giustifichi tali scelte</u>

140
60
larghezza massima 70 mm
diametro massimo
220mm
Rcorona
UTILIZZATORE 1
Mandrino moto di taglio
D
Albero 2
C
C1=110 Nm
UTILIZZATORE 2
Mandrino moto di
avanzamento
C2 =70 Nm
Innesto a
frizione piana
Rpignone
Z4
Z3
80
B
150
Albero 1
Motore
elettrico
A
80
Z2
Z1
i1<230

**Tema n. 9**

Una sospensione automobilistica tipo McPharson, rappresentata in figura 3, deve essere dimensionata per un peso variabile da 2600 a 2900 N e garantire una frequenza propria di oscillazione f variabile da 1,3 a 1,5 Hz.

Per la progettazione si consideri lo schema di figura 1. Si chiedono i punti seguenti:

1. Calcolare il valore della rigidezza della molla K (si trascuri la rigidezza dello pneumatico).
2. Dimensionare la molla elicoidale cilindrica a fatica per una durata illimitata utilizzando un acciaio commerciale opportunamente scelto (dal manuale tecnico).
3. Si scelga lo smorzamento pari a metà del valore critico e si calcoli il decremento logaritmico.
4. Dimensionare il cuscinetto tenendo conto del seguente spettro di carico:

| *%* | *P(N)* | *F(N)* | *L(N)* | *CARICO TIPO* |
|---|---|---|---|---|
| 50 | 2900 | 0 | 0 | P carico verticale a terra |
| 25 | 2750 | 0 | 1800 | F carico longitudinale in frenata |
| 25 | 2600 | 2200 | 0 | L carico laterale a terra |

5. Eseguire un disegno quotato del mozzo della ruota figura 2 su cui è montato il cuscinetto: si dimensioni il mozzo sapendo che la filettatura del dado centrale sul perno è M16 e la vite di fissaggio della ruota è M12.
6. Si indichi il valore di coppia massimo trasmissibile con l'accoppiamento albero-mozzo scelto.

Ogni ulteriore assunzione, in aggiunta a quella contenuta nel testo, venga motivata dal candidato.

FIG. 1: SCHEMA SOSPENSIONE

FIG. 2: MOZZO RUOTA

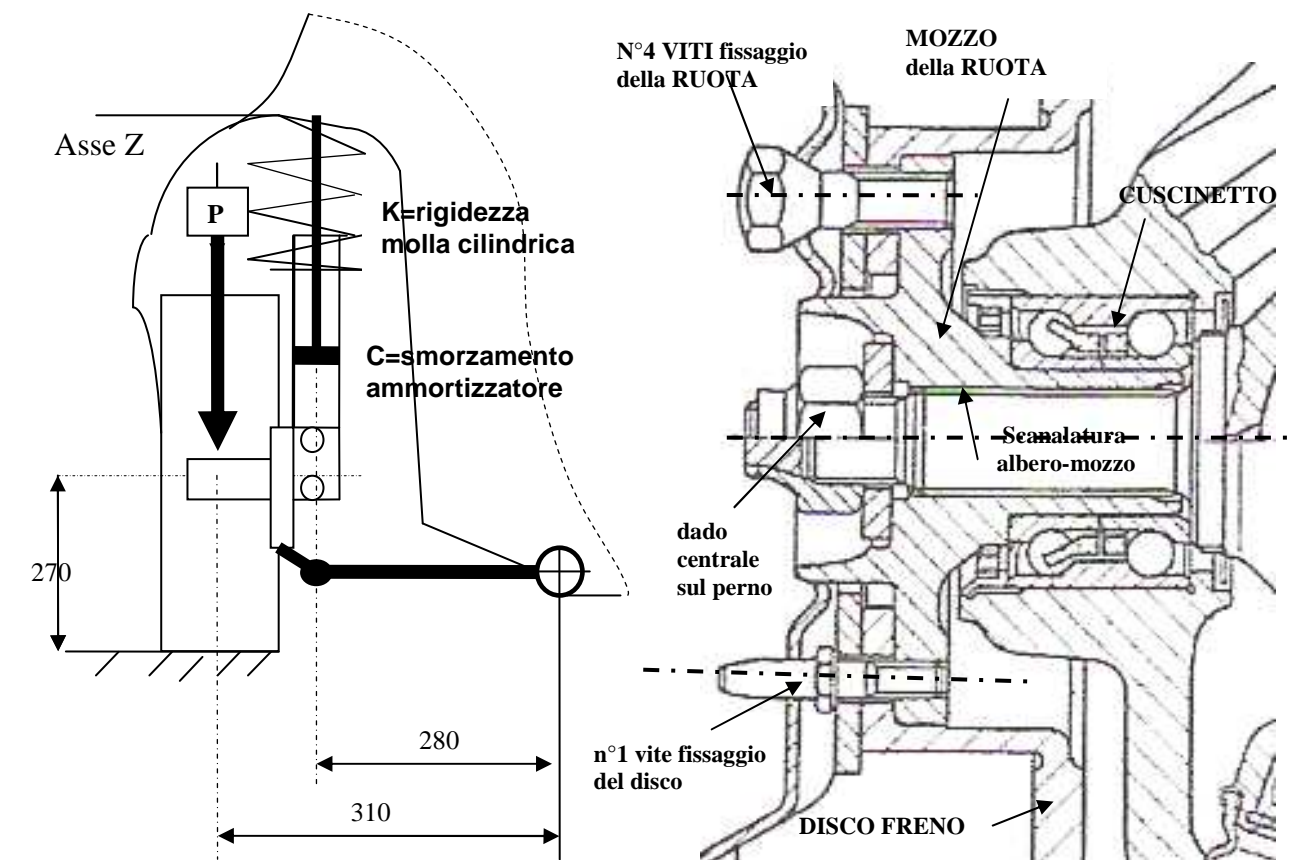
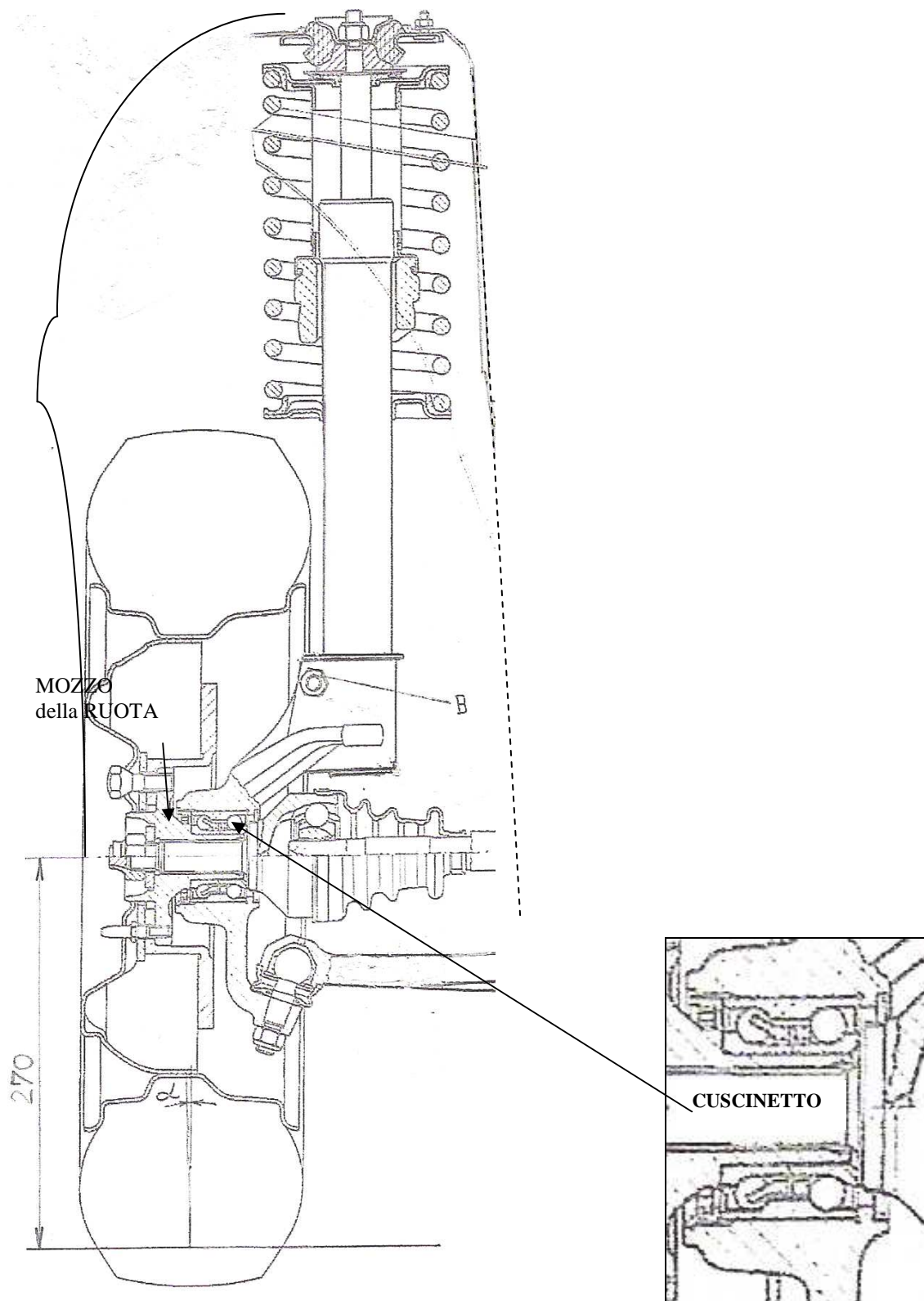
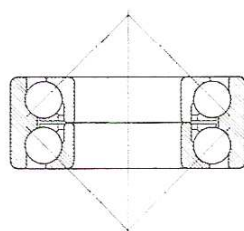
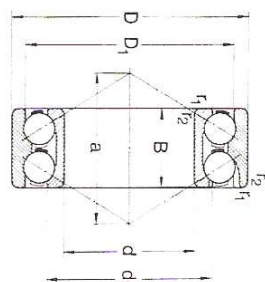



FIG. 3: SOSPENSIONE AUTOMOBILISTICA

## Cuscinetti obliqui a due corone di sfere
d 10–55 mm

| Dimensioni d'ingombro d | D | B | Coeff. di carico dinam. C | stat. $C_0$ | Velocità massima Lubrificazione con grasso | con olio | Massa | Appellativo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | | | N | | giri/min | | kg | – |
| 10 | 30 | 14 | 7 920 | 5 200 | 16 000 | 22 000 | 0,052 | 3200 |
| 12 | 32 | 15,9 | 9 680 | 6 400 | 15 000 | 20 000 | 0,063 | 3201 |
| 15 | 35 | 15,9 | 9 130 | 6 200 | 13 000 | 18 000 | 0,072 | 3202 |
| | 42 | 19 | 15 100 | 10 600 | 10 000 | 15 000 | 0,13 | 3302 |
| 17 | 40 | 17,5 | 12 500 | 9 000 | 10 000 | 15 000 | 0,10 | 3203 |
| | 47 | 22,2 | 20 900 | 15 000 | 9 500 | 14 000 | 0,19 | 3303 |
| 20 | 47 | 20,6 | 17 200 | 12 700 | 9 000 | 13 000 | 0,17 | 3204 |
| | 52 | 22,2 | 20 900 | 15 600 | 8 500 | 12 000 | 0,23 | 3304 |
| 25 | 52 | 20,6 | 19 000 | 15 000 | 8 000 | 11 000 | 0,19 | 3205 |
| | 62 | 25,4 | 29 200 | 22 800 | 7 500 | 10 000 | 0,37 | 3305 |
| | 62 | 25,4 | 29 600 | 19 000 | 7 500 | 10 000 | 0,38 | 3305 D |
| 30 | 62 | 23,8 | 27 500 | 22 000 | 7 000 | [illegible] 500 | 0,32 | 3206 |
| | 72 | 30,2 | 38 000 | 31 000 | 6 300 | 8 [illegible]00 | 0,59 | 3306 |
| | 72 | 30,2 | 44 900 | 29 000 | 6 300 | 8 500 | 0,61 | 3306 D |
| 35 | 72 | 27 | 36 900 | 31 000 | 6 000 | 8 000 | 0,48 | 3207 |
| | 80 | 34,9 | 48 400 | 40 000 | 5 600 | 7 500 | 0,82 | 3307 |
| | 80 | 34,9 | 55 900 | 38 000 | 5 600 | 7 500 | 0,82 | 3307 D |
| 40 | 80 | 30,2 | 41 800 | 36 000 | 5 600 | 7 500 | 0,65 | 3208 |
| | 90 | 36,5 | 60 500 | 51 000 | 5 000 | 6 700 | 1,05 | 3308 |
| | 90 | 36,5 | 68 900 | 47 500 | 5 000 | 6 700 | 1,15 | 3308 D |
| 45 | 85 | 30,2 | 45 700 | 41 500 | 5 000 | 6 700 | 0,71 | 3209 |
| | 100 | 39,7 | 72 100 | 63 000 | 4 500 | 6 000 | 1,40 | 3309 |
| | 100 | 39,7 | 79 300 | 57 000 | 4 500 | 6 000 | 1,60 | 3309 D |
| 50 | 90 | 30,2 | 51 200 | 47 500 | 4 800 | 6 300 | 0,76 | 3210 |
| | 110 | 44,4 | 88 000 | 81 500 | 4 000 | 5 300 | 1,95 | 3310 |
| | 110 | 44,4 | 93 600 | 68 000 | 4 000 | 5 300 | 2,10 | 3310 D |
| 55 | 100 | 33,3 | 57 200 | 54 000 | 4 300 | 5 600 | 1,05 | 3211 |
| | 120 | 49,2 | 95 200 | 88 000 | 3 600 | 4 800 | 2,55 | 3311 |
| | 120 | 49,2 | 111 000 | 81 500 | 3 600 | 4 800 | 2,75 | 3311 D |

| Dimensioni d | $d_1$ ≈ | $D_1$ ≈ | $r_{1,2}$ min | a | Dimensioni delle parti che accolgono il cuscinetto $d_a$ min | $D_a$ max | $r_a$ max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | | | | | mm | | |
| 10 | 17,6 | 24,5 | 0,6 | 19 | 15 | 25 | 0,6 |
| 12 | 19,3 | 27,1 | 0,6 | 22 | 17 | 27 | 0,6 |
| 15 | 22,2 | 29 | 0,6 | 23 | 20 | 30 | 0,6 |
| | 25 | 35,2 | 1 | 27 | 21 | 36 | 1 |
| 17 | 25,6 | 34 | 0,6 | 27 | 22 | 35 | 0,6 |
| | 27,9 | 39,9 | 1 | 31 | 23 | 41 | 1 |
| 20 | 30 | 40,1 | 1 | 31 | 26 | 41 | 1 |
| | 32,5 | 43,8 | 1,1 | 34 | 27 | 45 | 1 |
| 25 | 35,4 | 45,6 | 1 | 35 | 31 | 46 | 1 |
| | 39,4 | 52,9 | 1,1 | 40 | 32 | 55 | 1 |
| | 40,1 | 53,4 | 1,1 | 57 | 32 | 55 | 1 |
| 30 | 41,9 | 54,1 | 1 | 41 | 36 | 56 | 1 |
| | 44,7 | 61,4 | 1,1 | 47 | 37 | 65 | 1 |
| | 47,2 | 63,7 | 1,1 | 67 | 37 | 65 | 1 |
| 35 | 48,5 | 63,1 | 1,1 | 47 | 42 | 65 | 1 |
| | 51,8 | 69,8 | 1,5 | 54 | 44 | 71 | 1,5 |
| | 52,8 | 71,5 | 1,5 | 76 | 44 | 71 | 1,5 |
| 40 | 54 | 69,9 | 1,1 | 52 | 47 | 73 | 1 |
| | 57,6 | 77,8 | 1,5 | 58 | 49 | 81 | 1,5 |
| | 59,4 | 80,3 | 1,5 | 84 | 49 | 81 | 1,5 |
| 45 | 59,6 | 75,4 | 1,1 | 56 | 52 | 78 | 1 |
| | 63,8 | 86,3 | 1,5 | 64 | 54 | 91 | 1,5 |
| | 66,6 | 88,6 | 1,5 | 93 | 54 | 91 | 1,5 |
| 50 | 64,2 | 81,1 | 1,1 | 59 | 57 | 83 | 1 |
| | 73,3 | 97 | 2 | 73 | 60 | 100 | 2 |
| | 73 | 97,2 | 2 | 102 | 60 | 100 | 2 |
| 55 | 70,4 | 88,3 | 1,5 | 64 | 64 | 91 | 1,5 |
| | 81 | 106 | 2 | 80 | 65 | 110 | 2 |
| | 81,3 | 108 | 2 | 114 | 65 | 110 | 2 |

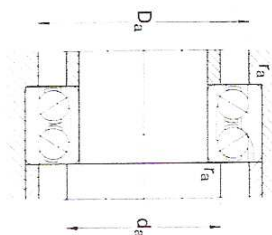



Fig.4: CATALOGO CUSCINETTI

**Tema n. 10**

Il layout di uno stabilimento è organizzato in funzione dei processi e non del prodotto.
In particolare, sono a disposizione le seguenti macchine:

**Tornio CNC**

- Potenza 15 kW
- Coppia max 95 Nm
- Diametro massimo di tornitura 200 mm
- Corsa trasversale (x) 190 mm
- Passaggio barra diametro 50 mm
- Numero di giri max 6000 giri/min
- Motore di avanzamento AC, velocità di rapido 30 m/min
- Numero stazioni utensili 12

**Centro di lavoro verticale CNC 3 assi**

- Corsa asse longitudinale X 850 mm
- Corsa asse trasversale Y 510 mm
- Corsa asse verticale Z 630 mm
- Velocità in rapido (X/Y/Z) 18/18/16 m/min
- Numero di giri max 8000
- Potenza 7.5 kW
- Coppia max 49 Nm
- Numero stazioni utensili 22

Tutte le macchine hanno una disponibilità teorica dell' 80% rispetto al monte ore annuo.

1. La figura 1 riporta il disegno meccanico di un componente in acciaio C45 ottenuto da uno spezzone di barra di dimensioni ∅ 100 x 130 mm.

   *Sulla base delle indicazioni da disegno in Figura 1, specificare quali macchine utensili possono essere impiegate e descrivere il ciclo di lavorazione, utilizzando il formato sottostante:*

| schizzo dell'operazione | Descrizione dell'operazione | Macchina utensile | Utensile | Vt (m/min) | a (mm/giro) | p (mm) | $t_t$ (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |

2. Un'operazione di fresatura dev'essere eseguita su una piastra di acciaio C45 di dimensioni 200 x 200 x 50 mm per realizzare il componente rappresentato in figura 2.

   *Specificare il codice ISO per realizzare l'operazione di fresatura precedentemente definita.*

3. Per la finitura dei profili interni delle tasche (contornitura) si utilizza una fresa a candela di diametro 10 mm con 2 taglienti, di cui sono noti la costante C = 315 e gli esponenti n = 0.3, r=0.25, s=0.1 della legge di Taylor generalizzata. Le costanti per il calcolo delle forze di taglio (N) sono $k_{s0}$=1855 e z=0.255.

   *Calcolare la velocità di taglio che permette di minimizzare il costo di lavorazione, sapendo che:*

   - *Costo orario della macchina utensile (costo macchina + manodopera): M=30 €/ora*
   - *Tempo di cambio utensile: $t_{cu}$=2 min*
   - *Costo per tagliente: $C_{ta}$=3 €*
   - *Tempo improduttivo: $t_{imp}$=2 min*
   - *Tempo di setup: $t_{su}$=6 min*
   - *Dimensione del lotto: 2000 pezzi*

   *Calcolare il conseguente tempo di produzione e il costo della lavorazione.*

4. Il centro di lavoro CNC esegue la sgrossatura del componente in figura 2 impiegando 5 min e l'operazione di finitura come da punto precedente. I tempi di setup per l'intero lotto di 2000 pezzi seguono una distribuzione normale con media di 6 minuti e deviazione standard di 2 min.
   Il tempo di produzione del centro di lavoro CNC potrebbe aumentare a causa di problemi tecnici sull'impianto di lubrificazione che possono interrompere la lavorazione. Pertanto ogni 1000 pezzi viene fermata la macchina per effettuare un intervento di manutenzione predittiva, che richiede mediamente 10 minuti con deviazione standard pari ad 1 minuto. Nonostante la manutenzione predittiva una volta all'anno si verifica un guasto che richiede la sostituzione di uno o più componenti. Tali fermi macchina richiedono mediamente 6 ore con coefficiente di variabilità pari a 0.41.
   In base a tali indicazioni e alle caratteristiche della macchina si determini il tempo effettivo di lavorazione del centro di lavoro CNC ed il coefficiente di variabilità.

5. Ipotizzando di dover lavorare sulle macchine utensili disponibili:
   - un lotto di 3000 pezzi per il componente di figura 1
   - un lotto di 2000 pezzi per il componente di figura 2
   - un lotto di 1500 pezzi per un terzo componente che richiede una lavorazione di 10 min sul centro di lavoro CNC e successivamente di 6 min sul tornio CNC
   - un lotto di 1000 pezzi per un quarto componente che richiede una lavorazione di 6 min sul tornio e successivamente di 6 min sul centro di lavoro CNC
   - Ed ancora un lotto di 2500 pezzi per un quinto componente che richiede solo una lavorazione di 2 minuti sul centro di lavoro CNC

   e volendo minimizzare il tempo di completamento massimo, modellizzare il problema e proporre un algoritmo risolutivo. Calcolare la sequenza ottima di schedulazione tenendo in considerazione semplicemente i tempi di lavorazione.

Eventuali dati mancanti dovranno essere assunti dal candidato.

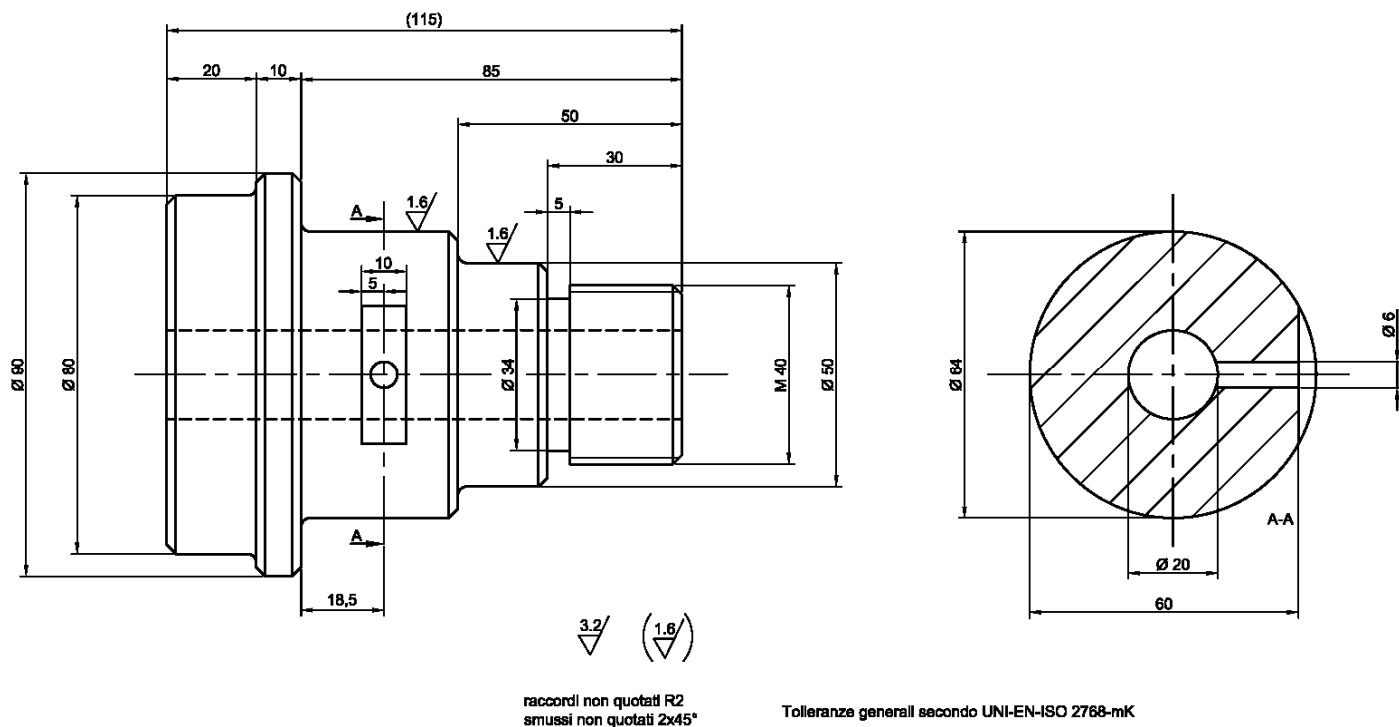



Figura 1. Albero filettato

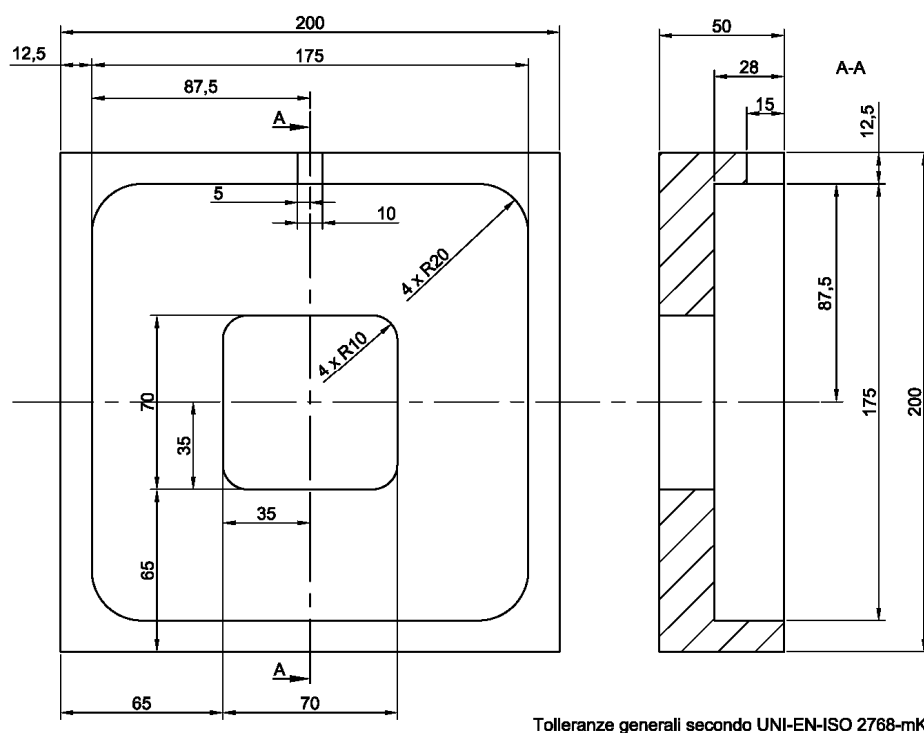
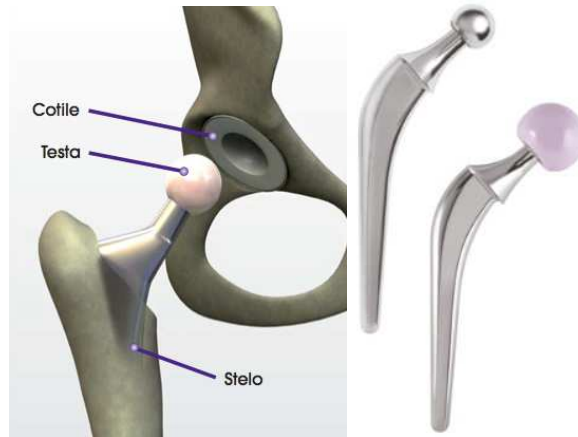



Figura 2. Componente fresato

**Tema n. 11**

Al candidato è richiesto di selezionare materiali e relativi accoppiamenti idonei a realizzare una protesi d'anca completa (stelo, testa, componente acetabolare e suo supporto), come da esempio riportato in figura.

Il candidato esamini il problema dal punto di vista scientifico e tecnologico utilizzando i criteri di scelta delle classi di materiali proposti da Ashby (Funzione/Obiettivi/Vincoli).
In particolare si richiede di individuare e discutere le principali criticità a cui tale protesi è sottoposta, giustificando le ragioni che guidano la scelta dei materiali, anche in considerazione dell'ambiente particolare in cui tale protesi andrà a lavorare.
Selezionati i materiali ottimali, il candidato illustri le possibili tecnologie produttive necessarie per ottenere i componenti principali di tale protesi.